

# 九龙江流域水厂生产废水回用条件的初步研究

费霞丽<sup>1,2</sup> 崔福义<sup>1</sup> 吴灿东<sup>2</sup> 魏巍<sup>1</sup> 徐勇鹏<sup>1</sup>

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院, 哈尔滨 150090; 2 厦门水务集团有限公司, 厦门 361009)

**摘要** 以九龙江原水为研究对象,从改善低浊水混凝条件优化净水工艺角度,对生产废水的回用条件和作用规律进行了研究。研究认为:回用具有适当含固率的生产废水可以改善水处理过程的混凝条件,节省投药量,节药率一般为10%~40%;存在改善混凝条件、节省投药量的最佳含固率和最佳混合水浊度范围,最佳含固率为0.1%~0.7%,最佳混合水浊度为60~400 NTU;原水浊度是显著影响最佳含固率的因素。当原水浊度小于60 NTU时,最佳含固率随原水浊度的升高而增加,当原水浊度大于60 NTU时,最佳含固率随原水浊度的升高而降低,最佳混合水浊度表现出相同的规律;在生产过程中,建议以最佳混合水浊度控制生产废水的回用。

**关键词** 生产废水 回用 含固率 混凝

## Primary research on waterworks wastewater reuse in Jiulongjiang River Basin Waterworks

Fei Xia-li<sup>1,2</sup>, Cui Fu-yi<sup>1</sup>, Wu Can-dong<sup>2</sup>, Wei Wei<sup>1</sup>, Xu Yong-peng<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. Xiamen Water Group Ltd., Xiamen 361009, China)

**Abstract:** The water recycling condition and working mechanism of waterworks wastewater reuse were studied. The coagulation operation has been just optimized to improve the effects in purification of low turbidity raw water taken from Jiulongjiang River. The results showed that recycling of wastewater with suitable solid content could improve the coagulation condition and save coagulants about 10% ~ 40%. There were optimal ranges for wastewater solid content(0.1% to 0.7%) and for mixed water turbidity (60 to 400 NTU). The turbidity of the raw water was dominating factor affecting the optimal solid content. When the turbidity of raw water was less than 60 NTU, the optimal solid content ratio increased with raw water turbidity, while when raw water turbidity was more than 60 NTU, the optimal solid content ratio decreased with raw water turbidity. The optimal mixed water turbidity behaved same. In potable water production process, it was suggested in this paper that optimal mixed water turbidity could be selected as parameter to control the wastewater recycling.

**Keywords:** Waterworks wastewater; Reuse; Solid content ratio; Coagulation

### 0 前言

九龙江流域给水处理厂在运行中存在两大问题,一是给水厂生产废水(沉淀池排泥水和滤池反冲

洗水)约占制水量的3%~8%,如直接排放既浪费水资源又污染环境,有必要进行处理与回用;二是原水浊度较低,难于处理。因此,本文在研究生产废水回用条件时,综合考虑给水厂生产废水的回用与混凝条件改善问题,以期收到节水与提高水处理效率

国家“十五”科技攻关资助项目(2002BA806B04)。

的双重效益。

## 1 原水水质及试验设计

### 1.1 原水水质

该试验在南方某给水厂进行,原水来自九龙江,浊度为 2.6~182 NTU,平均 26.6 NTU,冬春两季有近 3 个月的时间原水浊度在 20 NTU 以下,全年浊度在 40 NTU 以内出现的累计概率达到 80%,属于低浊度原水<sup>[1]</sup>。全年部分水质情况见图 1。该水厂生产废水及污泥的若干参数见表 1 和表 2,表 1 和表 2 说明该厂生产废水污泥中约有质量分数 76% 的颗粒粒径小于 4  $\mu\text{m}$ ,分布在粘粒(粒径小于 5  $\mu\text{m}$ )范围,有机物组分达到 22.6%,说明含有较高的腐殖质和藻类,但  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量达 24.47%,含有较高的  $\text{Al}(\text{OH})_3$  沉淀物,回用后可以发挥吸附和卷扫功能,改善低浊水的混凝效果<sup>[2]</sup>。

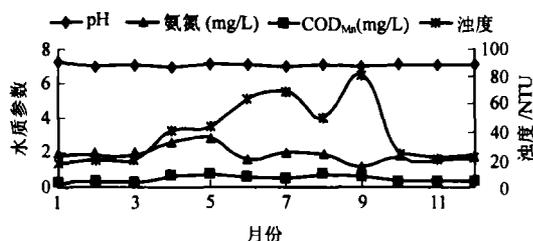


图 1 原水水质

表 1 生产废水颗粒粒径分布

粒径/ $\mu\text{m}$	累积质量分数/%	粒径/ $\mu\text{m}$	累积质量分数/%
0.2	5.7	7	84.2
0.4	21.1	10	89.2
0.7	39.2	12	91.4
1	48.7	15	94.6
2	65	20	25
4	76	25	100

表 2 生产废水污泥组分

烧失量/%	$\text{SiO}_2$ /%	$\text{Al}_2\text{O}_3$ /%	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ /%	$\text{CaO}$ /%	$\text{MgO}$ /%	$\text{Na}_2\text{O}$ /%	$\text{K}_2\text{O}$ /%	$\text{MnO}$ /%	$\text{TiO}_2$ /%	$\text{SO}_4^{2-}$ /%
22.6	37.97	24.47	7.54	0.89	1.38	0.24	0.81	0.92	1.20	0.16

### 1.2 试验设计

利用搅拌试验模拟水厂实际工艺,采用 DC-506 型试验搅拌机,试验参数设计如下:快速搅拌 1 min,速度 300 r/min,慢速搅拌 20 min,速度 40 r/min,沉淀时间 15 min,取上清液进行检测。参照该水厂生产控制参数,上清液浊度在  $3 \pm 0.5$  NTU 时

认为浊度达标。分别将沉淀池排泥水、滤池反冲洗水以及二者比例为 1:3 的混合水(即回用水 1、回用水 2 和回用水 3),以一定比例加入原水中进行试验,这 3 种回用水和原水混合后的水样称为混合水。实际生产过程中,生产废水的产生比例是相对稳定的,根据该水厂生产情况,试验中固定生产废水的回用比为 5%。为便于比较 3 种回用水作用规律,对含固率较低的滤池反冲洗废水进行适当浓缩。混凝剂为 1% 的液体聚氯化铝。试验期间原水温度为 15~25  $^{\circ}\text{C}$ 。

为了探讨生产废水回用对混凝性能的影响,分别以混合水和原水进行试验。并依据达标浊度要求,确定各种条件下的需药量。

## 2 回用水的最佳含固率及其变化规律

### 2.1 对比试验

试验发现(见图 2),当回用水的含固率不同时,达标需药量也不一样;回用水在最佳含固率范围,能改善混凝条件,在确保沉淀水浊度达标的同时,投药量最少。而且原水浊度变化时,对应的最佳含固率也在变化。三种回用水均表现出相同的规律。试验进一步寻找最佳含固率的变化规律。

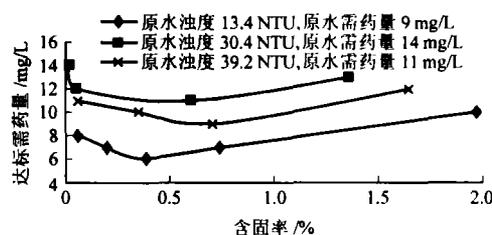


图 2 回用水含固率与混合水需药量关系

### 2.2 最佳含固率的变化规律

图 3 和图 4 为原水浊度在 10~40 NTU 时,回用水 1 含固率及混合水浊度对混凝的影响,其中节约率代表在浊度达标的情况下原水与混合水需药量的变化率。

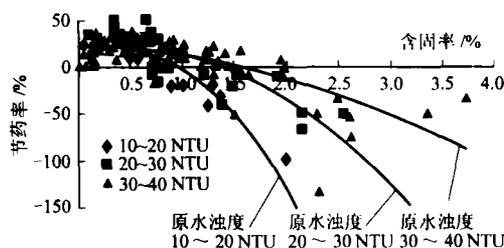


图 3 含固率与节约率的关系(回用水 1)

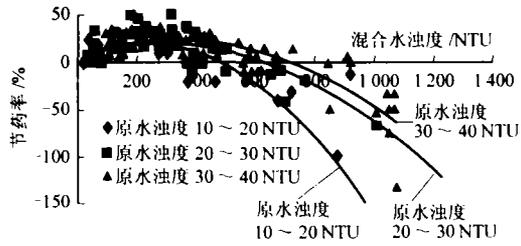


图4 混合水浊度与节约率的关系(回用水1)

图3和图4表明,加入回用水1后节约率最高可达到50%,而在25%~30%分布的点最多;原水浊度影响节约效果,在原水浊度为20~30 NTU时节约率相对较高;随着原水浊度的增加,能够节省投药量的含固率或混合水浊度的范围有所增大,且节约的含固率多在1%以内,混合水浊度上限在500~600 NTU,超过该上限后,节约率多为负值,即投加回用水后混凝效果降低。由此可见,含固率和混合水浊度可用于评价生产废水回用对混凝的影响,考虑到混合水浊度在实际生产操作中测定与控制更为方便,认为生产上采用混合水浊度作为评价和控制指标更为适宜。对回用水2和回用水3的试验结果进行分析,发现规律相同。

图5和图6表示在原水浊度10~90 NTU内三种回用水的含固率及混合水浊度与节约率的关系。三种回用水节省投药量的含固率或混合水浊度分布范围大致相同,因此可以认为这三种回用水改善混凝条件的作用规律是相同的。

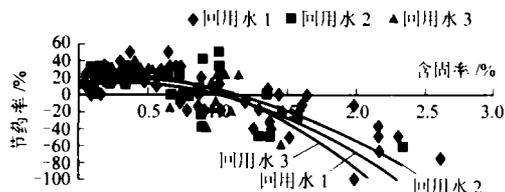


图5 含固率与节约率的关系

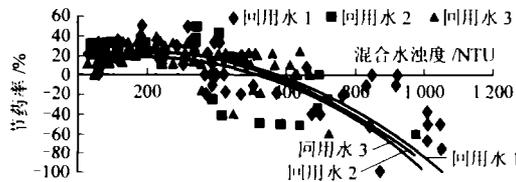


图6 混合水浊度与节约率的关系

图5和图6表明在一定的原水浊度条件下,当含固率(混合水浊度)低于某个值时,生产废水回用后达标需药量较无回用水的原水低。即多数情况下

当含固率小于1%,或者混合水浊度不大于600 NTU时,回用生产废水会改善混凝效果,节省药耗。进一步分析发现,当含固率低于0.1%,或混合水浊度低于60 NTU时,需药量则不会有明显的节约,这说明从改善混凝效果考虑,含固率或混合水浊度并非越低越好。当含固率在0.7%~1%(或混合水浊度在400~600 NTU),节约情况波动较大,在一些试验中节约率为负值。综合考虑以上情况,最佳的含固率范围为0.1%~0.7%,或混合水浊度范围为60~400 NTU,对应的节约率在10%~40%。

### 3 影响因素分析

试验表明存在改善混凝效果最好的最佳含固率(或混合水浊度),但同时也发现该值是变动的。因此设计正交试验,分析其主要影响因素。

试验原水温度为 $20 \pm 2$  °C,根据该水厂原水水质的特点,确定考查因素为原水浊度、 $COD_{Mn}$ 和氨氮,选用三因素二水平正交表 $L_4(2^3)$ 设计正交试验,并用腐殖酸和氨水分别调节原水中的 $COD_{Mn}$ 和氨氮浓度,以最佳含固率为评价指标,试验因素水平见表3。最佳含固率用上述对比试验方法得到,试验用生产废水为回用水1。分别用原水和混合水进行试验,回用水含固率设计5个水平,分别为0.20%,0.40%,0.55%,0.73%和0.77%,共进行24次试验。表4和表5分别为正交试验极差和方差分析结果。

结果表明浊度是显著影响最佳含固率的因素,

表3 试验因素水平

因素	内容	水平	数值
1	浊度/NTU	1,2	$50 \pm 1, 30 \pm 1$
2	$COD_{Mn}/mg/L$	1,2	$5.3 \pm 0.05, 3.3 \pm 0.05$
3	氨氮/ $mg/L$	1,2	$0.52 \pm 0.01, 0.32 \pm 0.01$

表4  $L_4(2^3)$ 正交试验结果分析

水平	因素			最佳含固率/%
	浊度	$COD_{Mn}$	氨氮	
试验号	1	1	1	0.73
	2	1	2	0.77
	3	2	1	0.40
	4	2	2	0.55
$k_1$	1.5	1.13	1.28	
$k_2$	0.95	1.32	1.17	
极差 R	0.29	0.09	0.05	

表5 正交试验方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F值	显著性
浊度	7.57	1	7.57	18.93	显著
COD <sub>Mn</sub> <sup>Δ</sup>	0.37	1	0.37	0.93	不显著
氨氮 <sup>Δ</sup>	0.31	1	0.31	0.76	不显著
误差	0.525	1			
误差 <sup>Δ</sup>	1.2	3			
总和	8.77	3			

注:  $F_{0.05}(1, 3) = 10.13$ ,  $F_{0.01}(1, 3) = 34.12$ 。

COD<sub>Mn</sub>和氨氮对最佳含固率的影响不显著。

为了进一步验证上述结论,按 COD<sub>Mn</sub>或氨氮范围进行数据分类,(因为三种回用水的影响规律相似,统计分析时将三种回用水的试验数据合并分析),得到不同 COD<sub>Mn</sub>和氨氮水平时最佳含固率及最佳混合水浊度的变化曲线(见图7~图10)。

从图7和图8可以看出,原水中 COD<sub>Mn</sub>和氨氮的变化,对最佳含固率的影响不明显;但随原水浊度的变化,最佳含固率呈现明显的抛物线变化趋势,而

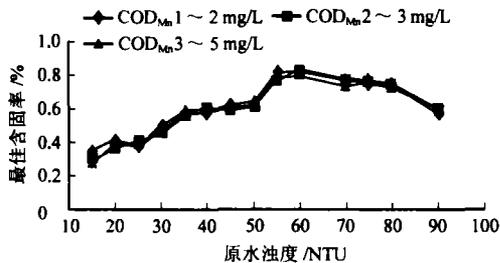


图7 不同 COD<sub>Mn</sub>水平时最佳含固率变化曲线

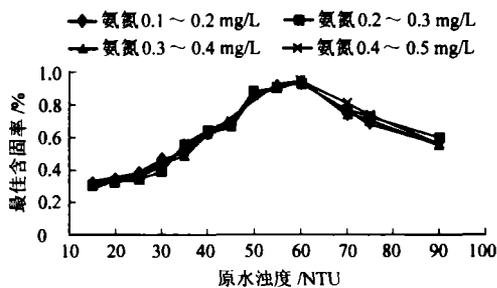


图8 不同氨氮水平时最佳含固率的变化曲线

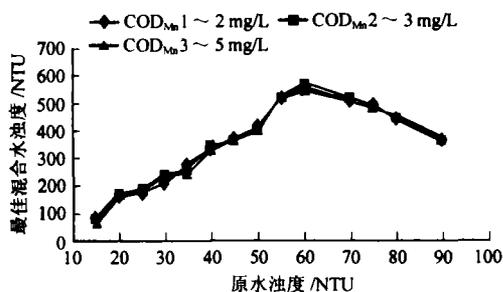


图9 不同 COD<sub>Mn</sub>水平时最佳混合水浊度变化曲线

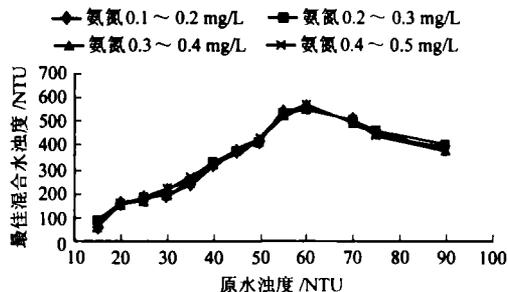


图10 不同氨氮水平时最佳混合水浊度变化曲线

且图7和图8的曲线形式非常相似。当原水浊度低于60 NTU时,随着浊度的升高,最佳含固率也增加;当原水浊度在50~60 NTU时,最佳含固率最高达到0.9%;当原水浊度超过60 NTU后,最佳含固率下降。最佳混合水浊度表现出同样的规律(见图9和图10),当原水浊度为60 NTU左右时,最佳混合水浊度最大可达到576 NTU。出现这种情况可能是因为:

(1)当原水浊度较低时,水中的胶体颗粒粒径小,数目少,颗粒碰撞的机会少,混凝效果差,回用含有大量固体颗粒的生产废水,可以增加混凝剂水解产物的凝结中心,提高颗粒的碰撞几率并增加絮凝体密度。同时生产废水中含有的  $Al(OH)_3$  沉淀物的卷扫和吸附作用更促进了混凝<sup>[2]</sup>;回用适当含固率的生产废水可以改善混凝效果,节省药耗<sup>[3]</sup>。

(2)试验所用混凝剂是聚合氯化铝(PAC),其混凝原理是聚合阳离子对水中胶粒起电性中和及架桥作用,当原水浊度低于60 NTU时,随着原水浊度增大,水中颗粒数量增加,为保证余浊达标,需药量也随着增加,以提供更多的聚合阳离子实现与胶粒的中和及架桥作用<sup>[4]</sup>。而回用水的最佳含固率随原水浊度的增加而增大,说明本应通过增加混凝剂量提供的具有高聚合度低电荷的多核络离子,转而以回用高含固率的生产废水来获得。

(3)当原水浊度高于60 NTU时,水中含有的颗粒数大量增加,混凝剂与之发生较好的电中和、架桥和沉淀网捕等作用,此时对生产废水回用提供的固体颗粒的要求降低,过高的含固率可能成为混凝沉淀负担,所以出现最佳含固率下降的现象。

上述结果表明,目前一些给水厂将生产废水充分沉淀或进行加药预处理后再回用的传统做法是不经济的,可根据生产废水和原水的水质情况,从废水回用改善净水工艺混凝条件出发,选择适当的生产

# 大连市沙河口净水厂污泥处理工艺及生产运行分析

王 佐 崔京朝

(大连市自来水集团有限公司, 大连 116011)

**摘要** 大连市沙河口净水厂日处理能力 40 万  $\text{m}^3$ 。介绍了该厂污泥处理系统的工艺流程、主要设备及生产运行情况。通过对调试阶段的测试数据和不同季节原水水质变化时生产实际运行数据及相关化验结果的分析,确定了达到工艺技术要求在日常运行参数。并在现行条件下,对污泥处理系统的运行成本进行了分析。结果表明,沙河口净水厂采用污泥处理系统处理排泥水,制水成本增加 0.029 元/ $\text{m}^3$ 。

**关键词** 给水厂 污泥处理工艺 生产运行 参数 成本

## 0 前言

大连市沙河口净水厂是一座净水能力为 40 万  $\text{m}^3/\text{d}$  的新建水厂,其中污泥处理系统处理能力为 17.6  $\text{t}/\text{d}$ (干泥量)。水厂原水以碧流河水水库水为主,给水处理工艺采用常规的混凝沉淀过滤工艺,即配水井→管式静态混合→折板絮凝池→斜管沉淀池→V 型滤池→清水池。处理的污泥主要来源为斜管沉淀池排泥水,另有少量为折板絮凝池排泥水。滤

废水回用处理工艺参数,做到经济上最优化。当然,还应充分考虑该工艺的水质安全问题,如出水有机物是否会增加以及贾第虫、隐孢子虫等是否会泄漏等。对此将专题研究,另文论述。

## 4 结论

(1)回用具有适当含固率的生产废水可以改善水处理工艺的混凝条件,节省投药量。

(2)改善混凝条件节省投药量的最佳含固率范围为 0.1%~0.7%,最佳混合水浊度范围为 60~400 NTU,对应的节约率为 10%~40%。

(3)原水浊度是显著影响最佳含固率的因素。当原水浊度小于 60 NTU 时,最佳含固率随原水浊度的增加而增加,当原水浊度大于 60 NTU 时,最佳含固率随原水浊度的增加而降低。最佳混合水浊度表现出与此相同的规律。

(4)考虑实际生产中测定与控制的方便程度,认为采用混合水浊度作为评价和控制指标更为适宜。

池反冲洗水排水没有进入污泥处理系统,而是通过回流泵提升至配水井进入净水系统。

## 1 污泥处理工艺

### 1.1 污泥量的确定

给水厂的污泥量受多种因素影响,包括原水水质、水处理药剂投加量、采用的净水工艺和排泥的方式等。污泥量的多少决定了浓缩池和污泥脱水设备的工程规模。

## 参考文献

- 1 刘丽君,吴芳,等. 南方地区水源水质特征分析与评价. 城镇饮用水安全保障技术研讨会论文集. 深圳, 2004
- 2 X H Guan, C Shang, S m Yu, G H Chen. Exploratory study on reusing water treatment works sludge to enhance primary sewage treatment. Water Science and Technology: Water Supply, 2004, 14 (1):159~164
- 3 Tobiason J E, Edzwald, J K, Gilani V, Kaminski G S, Dunn H J, Galant P B. Effects of waste filter backwash recycle operation on clarification and filtration. Water Supply: Research and Technology-AQUA, 2003, 52(4):259~275
- 4 严煦世,范瑾初. 给水工程. 第四版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999

○通讯处: 150090 哈尔滨工业大学市政环境工程学院  
2602 信箱

电话: (0451)86282098

E-mail: feixiali@sohu.com

收稿日期: 2005-01-26